

ỨNG DỤNG GIẢI THUẬT PID ĐIỀU KHIỂN ỔN ĐỊNH ĐỘ CAO UAV DẠNG QUADROTOR

APPLICATION OF A PID CONTROLLER ALGORITHM TO STABILIZE THE ALTITUDE OF THE QUADROTOR-TYPE UAV

LÊ HỮU TOÀN*, LÊ HOÀNG ANH, TRẦN ĐỨC THUẬN

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

Email: toanlh@vlute.edu.vn*

Nhận bài (Received): 17/10/2022; Phản biện (Reviewed): 16/11/2022; Chấp nhận (Accepted): 29/11/2022

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất bộ điều khiển PID cho UAV loại Quadrotor trong mặt phẳng thẳng đứng và ổn định. Bộ điều khiển PID sử dụng trong hệ thống nhằm ổn định độ cao và góc quay cho UAV. Mô hình được xây dựng trong môi trường Matlab simulink. Kết quả mô phỏng cho thấy bộ điều khiển có tính thích nghi cao giúp UAV mở rộng khả năng hoạt động.

Từ khóa: UAV, PID, Quadrotor.

ABSTRACT

This paper proposes a PID controller for a Quadrotor-type UAV in a stable and vertical plane. The PID controller is used in the system to stabilize the altitude and rotation angle for the UAV. The model is built in the Matlab simulink environment. Simulation results show that the controller is highly adaptive to help the UAV expand its operational capabilities.

Keywords: UAV, PID, Quadrotor

1. Mở đầu

UAV là thiết bị bay có những ưu điểm rất nổi trội về mặt kinh tế, ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực nghiên cứu và dân dụng, công nghiệp và nông nghiệp,... Các ứng dụng của UAV đang rất hứa hẹn trong những năm gần đây[1]. Quadrotor như một nền tảng thử nghiệm cho các thuật toán điều khiển khác nhau thu hút những người nghiên cứu kỹ thuật điều khiển. Trên thế giới rất nhiều nghiên cứu đang diễn ra trên quadrotor để đạt được khả năng linh động và di chuyển như mong muốn trong khi sử dụng các thuật toán điều khiển khác nhau

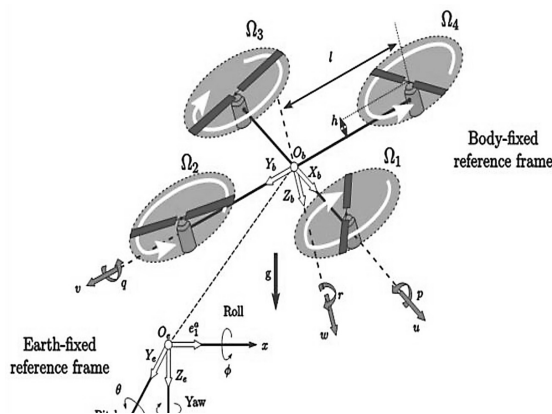
Nhằm đáp ứng vấn đề điều khiển nói chung và hệ điều khiển[2-5]. Các mạch điều khiển logic, các bộ điều khiển kinh điển PID, các hệ thống điều khiển tích hợp và điều khiển hiện đại (điều khiển mờ, điều khiển nơron, điều khiển thích nghi,...) đã và đang được ứng dụng rộng rãi và mang lại nhiều kết quả thiết thực[6]. Bộ điều khiển PID là một trong những kỹ thuật điều khiển được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp để giữ cho hệ thống hoạt động đúng yêu cầu, chính xác trong các điều kiện thay đổi. Cho đến hiện tại xu hướng không ngừng cải tiến các hệ thống sử dụng PID[7].

2. Mô hình hóa hệ thống

2.1 Các góc Euler

Các góc được quay theo quy tắc tay phải xung quanh ba trục tọa độ của một hệ trục thuận được định nghĩa là các góc Euler. Các góc quay không phải là đại lượng vector, do đó chúng không thỏa mãn tính chất giao hoán. Bởi vậy, thứ tự tiến hành các phép quay là rất quan trọng. Ta quy ước thực hiện các phép quay theo trình tự sau để đưa hệ trục gắn với máy bay trùng với hệ Trái Đất:

- $O_B x_B y_B z_B$ quay một góc roll θ ($-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}$) xung quanh trục $O_B x_B$;
- Quay một góc pitch ψ ($-\pi \leq \psi < \pi$) xung quanh trục $O_B y_B$;
- Quay một góc yaw (xung quanh trục $O_B z_B$ và trùng với $O_E x_E y_E z_E$)



Hình 1: Quy ước phương chiều UAV

Quadrotor là mô hình máy bay không người lái với 4 động cơ được gắn cánh quạt bố trí đều nhau tại 4 góc như Hình 1. Trong đó x, y, z là tọa độ trọng tâm của quadrotor so với khung tọa độ gốc. Roll, Pitch và Yaw là góc quay Euler biểu diễn hướng của vật thể lần lượt được kí hiệu là ϕ, θ và ψ , và $\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_4$ lần lượt là tín hiệu tốc độ của cánh quạt trước, phải, sau, trái.

2.2 Mô hình động học

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{-U_1}{m} (\cos \psi \sin \theta \cos \phi + \sin \psi \sin \phi) \\ \ddot{y} = \frac{-U_1}{m} (\sin \psi \sin \theta \cos \phi - \cos \psi \sin \phi) \\ \ddot{z} = g - \frac{U_1}{m} (\cos \theta \cos \phi) \\ \dot{p} = \frac{I_{yy} - I_{zz}}{I_{xx}} qr + \frac{l}{I_{xx}} U_2 \\ \dot{q} = \frac{I_{zz} - I_{xx}}{I_{yy}} pr + \frac{l}{I_{yy}} U_3 \\ \dot{r} = \frac{U_4}{I_{zz}} \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó m là khối lượng UAV, g gia tốc trọng trường, U_1 tổng lực của các motor, U_2, U_3, U_4 moment góc Roll, Pitch, Yaw. I_{xx}, I_{yy}, I_{zz} moment quán tính theo trục X, Y, Z , q, p, r vận tốc góc theo trục X, Y, Z .

3. Xây dựng hệ điều khiển

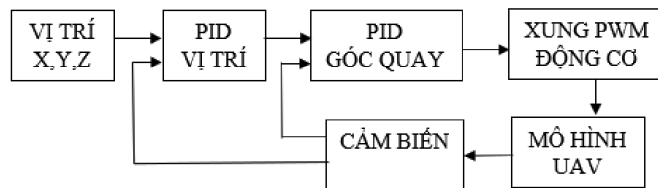
3.1 Mô hình điều khiển PID

Bộ PID kinh điển có cấu trúc như sau:

$$u(s) = K_p \cdot e(s) + K_i \frac{1}{s} e(s) + K_d \cdot s \cdot e(s) \quad (2)$$

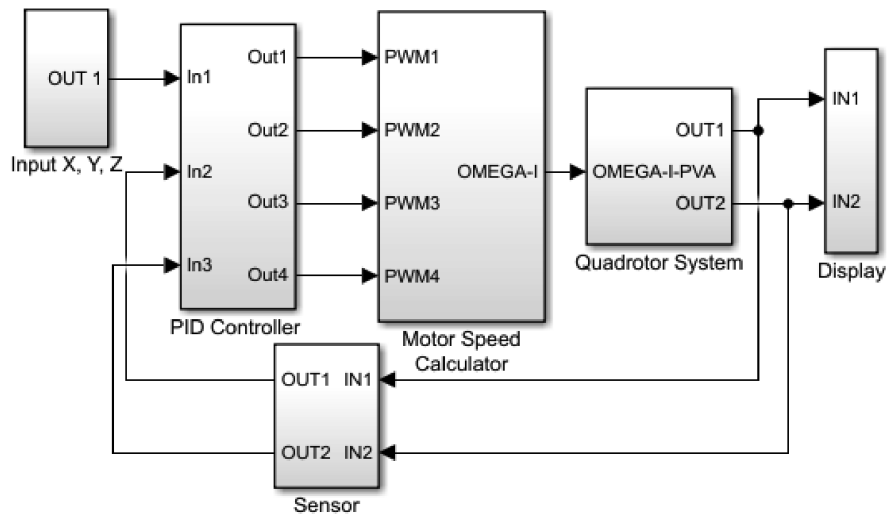
Trong đó e là sai lệch giữa tín hiệu vào và tín hiệu ra, u là tín hiệu điều khiển, K_p, K_i, K_d lần lượt là các hệ số của khâu khuếch đại, khâu tích phân và khâu vi phân.

Để kiểm soát độ cao và vận tốc góc của quadrotor, bộ điều khiển lấy tín hiệu đầu vào là sự thay đổi giữa z_d , roll ϕ_d , pitch θ_d và yaw ψ_d mong muốn và các giá trị thực tế z, ϕ, θ và ψ . Bộ điều khiển độ cao và vận tốc góc bao gồm bộ điều khiển PID vị trí và PID góc quay hệ thống được thiết kế theo sơ đồ hình 2.

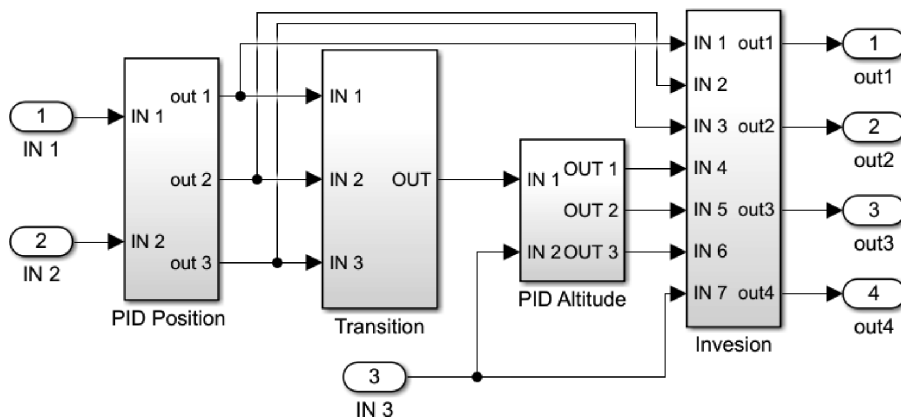


Hình 2: Sơ đồ khối bộ điều khiển PID cho UAV

Bộ điều khiển PID được xây dựng trên máy tính sử dụng phần mềm Matlab với môi trường Simulink.



Hình 3: Sơ đồ mô phỏng được thiết lập trong simulink



Hình 4: Sơ đồ điều khiển PID được thiết lập trong simulink

3.2 Chọn thông số PID

Bỏ qua tác động nhiễu của các cảm biến, sử dụng Simulink để mô phỏng cho UAV trong trường hợp lý tưởng với bộ điều khiển PID. Sau nhiều lần thử, các thông số

điều khiển tối ưu được đưa ra trong bảng 1 như sau:

Bảng 1: Bảng thông số giá trị PID các bộ điều khiển

Thông số	K_p	K_i	K_d
Z	5.88	0.001	5.05
X	0.3	0.015	0.31
Y	0.3	0.015	0.31
Roll	4.5	0	0.02
Pitch	4.5	0	0.02
Yaw	0.8	0.01	0.1

Tham số	Giá trị	Đơn vị
m	1,4	Kg
l	0,56	m
I_{xx}	0,05	Kg.m ²
I_{yy}	0,05	Kg.m ²
I_{zz}	0,24	Kg.m ²
g	9,81	m.s ²

4. Mô phỏng

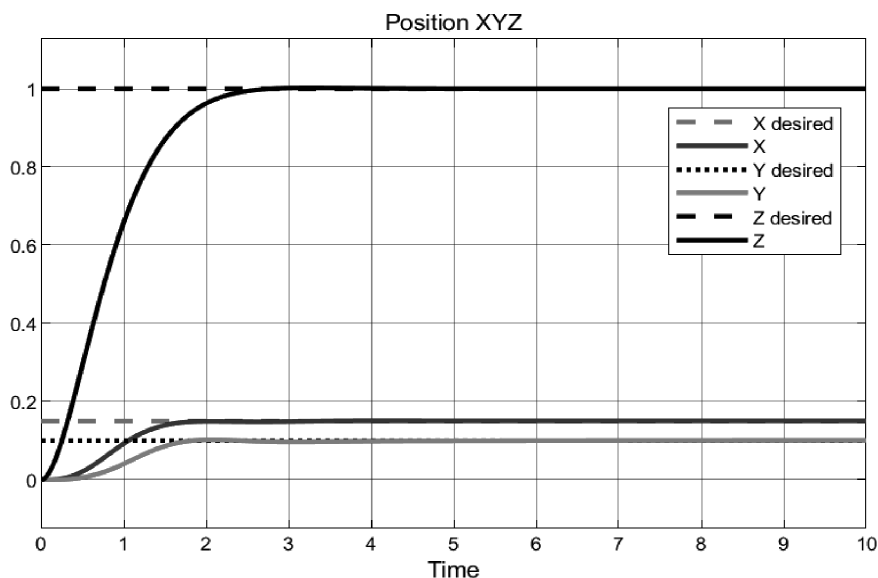
Để tiến hành mô phỏng với một số trường hợp bay điển hình khi không xét đến ảnh hưởng của nhiễu bên ngoài. Sử dụng phần mềm Matlab Simulink để mô phỏng bài toán chuyển động. Các trường hợp mô phỏng được trình bày sử dụng thông số kỹ thuật như bảng 2:

Bảng 2: Thông số kỹ thuật UAV dùng trong mô phỏng

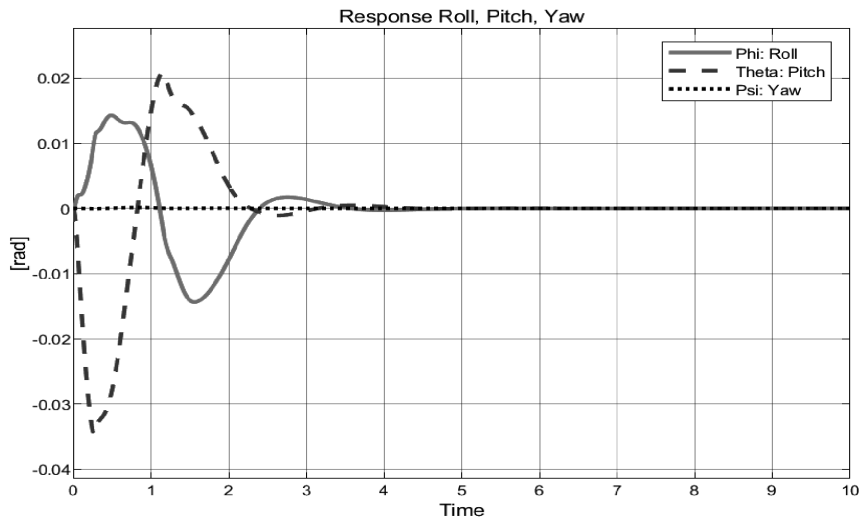
Tham số	Giá trị	Đơn vị
K_f	0,000013328	Kg.m
K_M	0,0000013858	Kg.m ²

Khảo sát hệ thống điều khiển quadrotor trong trường hợp quadrotor cất cánh theo phương thẳng đứng, đây là trường hợp đặc trưng của quadrotor. Các đầu vào vị trí của quadrotor theo phương X, Y và Z được đặt tại các giá trị: $X_d = 0.15$, $Y_d = 0.1$, $Z_d = 1$. Trong trường hợp này quadrotor thực hiện cất cánh theo phương thẳng đứng từ tọa độ ($X = 0$, $Y = 0$, $Z = 0$) tới tọa độ đặt ($X = 0.15$, $Y = 0.1$, $Z = 1$).

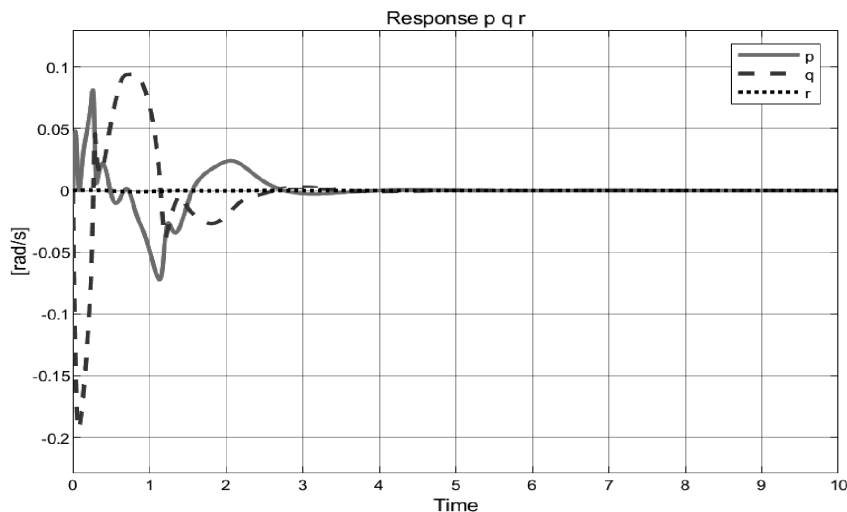
Kết quả mô phỏng đặc tính của vị trí x, y, z, các góc quay ϕ , θ , ψ và vận tốc góc của Quadrotor UAV được thể hiện trong các hình vẽ sau đây:



Hình 5: Đồ thị đáp ứng bay theo vị trí tọa độ X, Y, Z



Hình 6: Đồ thị đáp ứng UAV theo các góc



Hình 7: Đồ thị đáp ứng UAV theo vận tốc góc

Kết quả mô phỏng hoạt động của UAV thực hiện theo phương thẳng đứng và bay đến vị trí. Từ hình 5 khi quadrotor thực hiện cất cánh cho thấy quadrotor đã chuyển động thẳng đứng từ tọa độ ($X = 0, Y = 0, Z = 0$) tới tọa độ đặt ($X = 0.15, Y = 0.1, Z = 1$) và bay ổn định tại độ cao này. Độ chính xác trong điều khiển vị trí tốt, sai số vị trí bằng 0. Đáp ứng vận tốc dài nhanh chóng hội tụ về 0 khi đến trạng thái xác lập. Phản ứng của các góc và vận tốc góc giá trị = 0 không thay đổi đúng với chuyển động quadrotor lên thẳng.

5. Kết luận

Bài báo đã xây dựng thành công bộ điều khiển PID áp dụng trong chế độ bay theo phương thẳng đứng và ổn định độ cao. Việc áp dụng bộ điều khiển PID với 2 vòng điều khiển vị trí và góc quay cho phép UAV hoạt động linh hoạt với độ chính xác cao. Kết quả mô phỏng cho bộ điều khiển PID được thực hiện thành công trên matlab simulink. Từ kết quả mô phỏng ta thấy rằng bộ điều khiển được đề xuất trong bài báo này hoàn toàn có thể áp dụng cho UAV với các quỹ đạo chuyển động phức tạp một cách chính xác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Duy Tùng, Đỗ Trọng Tấn, Nguyễn Văn Đưa (2021), *Thiết Kế BĐK Tối Ưu H_{∞} Cho Máy Bay Không Người Lái(UAV) Ứng Dụng Trong Phát Hiện Cháy Rừng*, Tạp chí khoa học và công nghệ trang 103 - 111.
- [2] Shahida Khatoon(2017) “*Design and simulation of a hybrid PD ANFIS controller for attitude tracking control of a quadrotor UAV*”. Arabian journal for science and engineering.
- [3] Muhammad Usman (2020),“*Quadcopter Modelling and Control With MATLAB/ Simulink Implementation*” LAB University of Applied Science Technology Lappeenranta.
- [4] Nguyen Duc Minh, Nguyen Trong Thang(2016) “The Quadrotor MAV system using a double-loop PID control.” International Journal of Advance and Applied Sciences 2.12: 57-61. (ISI, ESCI).
- [5] Dmytro Pavlovich Kuchеров(2017) “Group of UAVs moving on smooth control law with fixed obstacles”. Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal Vol. 2, No. 3, 1034-1041.
- [6] Do Khac Tiep, ki nam Lee(2018) “ Design of fuzzy PID controller for path tracking of mobile robot with differential drive”. Internation journal of fuzzy logic and intelligent systems, vol 18, no 3, pp 220-228.
- [7] Felipe Ribas Silva De Azevedo (2014), *Complete system for quadcopter control*, Thesis, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul.